

マクロ写真とSfM を用いた土器施文同定の試み

著者	魚水 環
著者別表示	Uomizu Tamaki
雑誌名	金沢大学考古学紀要
号	41
ページ	59-64
発行年	2020-02-28
URL	http://doi.org/10.24517/00057297



マクロ写真と SfM を用いた土器施文同定の試み

魚水 環

(公益財団法人 埼玉県埋蔵文化財調査事業団)

I. 執筆の経緯

報告書や論文に掲載する図化情報のために SfM / MVS を用いて文化財や発掘現場の 3D モデルを作成するとき、その情報は、実物を写真撮影し、撮影した写真を組み合わせて 3D モデルを作成し、3D モデルから例えばオルソ投影図を作成して報告書や論文に掲載するといった工程を辿る。三次元の対象を二次元情報化し（撮影）、二次元情報から三次元情報化し（モデル生成）、三次元情報を二次元化する（オルソ投影図）わけである。三次元情報の用途としては、かかる工程・コストの割に「従来も作成してきた情報の精度が上がる」程度のものしか得られず、関連機材・ソフト導入に際して同意を得られないことも少なくない。

そもそも、「文化財を 3D モデルとする」ことによるメリットとは何だろうか。3D モデルはバーチャルなものである以上、モデルの大小も、あるいは観測するこちら側の大きさも自由に変更することができる。物体の裏側と表側を変更することもできる。現実的には見ることでできない角度からの視界を得ることもできる。後から異なるオブジェクトを追加することもできる。あるいは、例えば漆や金属、木製品等のように時間経過による状態変化にもとらわれることがない。つまり文化財を 3D 化することの利点とは、「現実に関りなく近似する（しうる）ものでありながら、空間・時間的な制約に左右されない」ことにある。

筆者は 2017 年に、埼玉県桶川市にある楽中遺跡という遺跡の整理作業を担当し、発掘調査報告書の刊行に携わった。ここで報告した、古墳前期集落から出土した土器片の中には、網目状撚糸文が施文されているものが 7 点あった。施文されている網目状撚糸文は、いずれも一本の幅が 0.3 ~ 0.4 mm しかない、きわめて細かい撚糸によるもので、網目状撚糸文であることはわかって、その撚りや絡糸の上下は肉眼では到底観察できなかった。その結果、筆者は報告書では、この中

の一部について、観察の結果「撚りが観察されず、撚糸原体の単位が確認できないことから、網目状撚糸文を模して櫛状工具痕を交差させた文様」[魚水 2017: 81・114 頁] とし、のちにデジタル顕微鏡を用いて撚糸圧痕を拡大して確認・撮影した際に網目状撚糸文であると認め、訂正した [魚水 2018]。目視では情報を捉えきれなかったわけである。観察眼の欠如は個人的に反省するところであるが、さてこうした目視の難しい文様の原体について、またそれを使用しての施文について立証するにはどうしたらよいのだろうか。

縄文や撚糸文とは、考えてみれば圧痕の一種である。圧痕を SfM で再現する作業については、網代圧痕 [山口 2017] や種子圧痕 [永見 2018] に既に実績がある。施文原体は回転体であるため、同一原体による回転単位ごとの圧痕については、宮原俊一が示したように [宮原 2009]、忠実な再現性が考えられる (図 1)。まして網目状撚糸文が単軸絡状体 (図 2) によるものであるとすれば¹⁾、より正確な再現性が想定できる。マクロ撮影により原体圧痕を大きく撮影して、これを基に施文された縄文や撚糸文の原体繊維一本に至るまで精細にモデル化できれば、例えば指紋で人物の同定が行われるように、原体の同定作業が行えるのではないか。また、施文単位についても明確に示すことができるのではないか。本稿では、このような発想と仮説に基づき、SfM / MVS を用いた網目状撚糸文の 3D モデル化とその施文原体についての検証実験を行った。本稿で扱ったのは、楽中遺跡第 1 号住居跡出土の、網目状撚糸文が口縁部および頸部に施文されている土師器 1 点 (写真 1) である。

なお、原体の回転による繊維圧痕の再現性については、上で触れたようにかつて宮原が写真で試みており [宮原 2009]、また CG により圧痕を再現した仮想モデルの作成については、高井健吾らによる実験成果がある [高井ほか 2014]。本稿は、手法としては宮原の行った検証を 3D 上でより実物に基づいて行うといっ

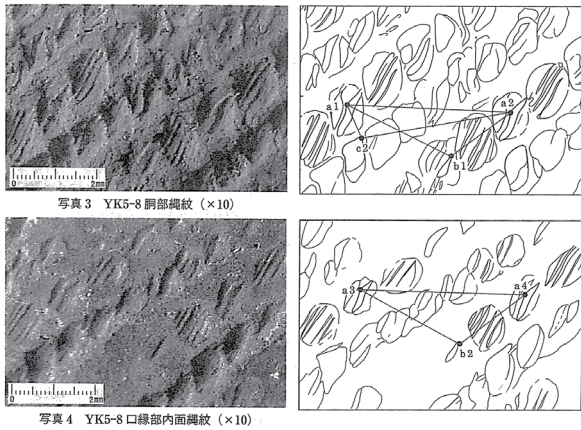


図1 原体の回転による再現性 [宮原 2009]

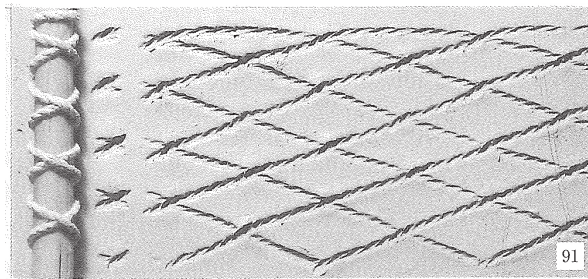


図2 単軸絡条体による網目状捺系文 [可児 2008]

た位置づけになる。

II. 検討の手法と機材

撮影対象が幅約 0.4 mm [魚水 2018] と細い捺糸による文様であるため、拡大して撮影する必要がある。そこで撮影にはマクロレンズ LAOWA 25mm F2.8 Ultra macro 2.5-5x を用いた。レンズ先端から対象まで約 4 cm のワーキングディスタンスが確保できるため、ライティングにも至便である。ボディは画質を考慮し、APS-C 型センサを搭載した SONY α 6300 を使用した。マクロレンズは 5x とし、センサが APS-C 型である

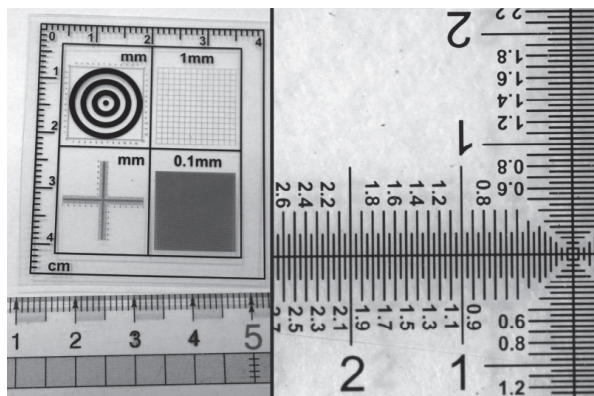


写真2 35mm 相当標準レンズによる撮影(左)と、LAOWA 25mm Ultra macro + α 6300 による 8x 解像(右: 単位は mm)



写真1 桶川市楽中遺跡出土壺破片

ため、撮影の実質倍率は約 8 倍となり、0.01 mm 単位まで解像することが可能となる(写真2)。被写界深度をできるだけ深く撮るため絞りたいが、マクロ撮影では回折現象が起きやすいため、F 値は 8 とした。また、非常にブレやすいため、レリーズを使用している。撮影光景は写真3に示した。

撮影した写真は被写界深度が約 0.2 mm と非常に浅いものとなる(写真4)。ボケ部分はモデル合成時の精度に大きく悪影響を及ぼすため、マクロスライダを用いてピントを少しずつずらした撮影を行い、深度合成を行う(写真5)。深度合成に使用する撮影写真は、撮って出しの jpg ではなく、極力 ARW ファイル(RAW)から現像した TIFF 画像を使用した。本撮影では 1 カットにつき約 10 枚の合成を Photoshop で行った。1 カット撮影すると、先行カットから撮影範囲が 70% ほど被るように台座の紙を平行にずらしながら次のカットの撮影を行った。約 7 × 3 cm の土器片に対して、撮影には 2 日間ほどかかり、総撮影枚数は 4674 枚であった。合成後の総カット数は 417 カットである。

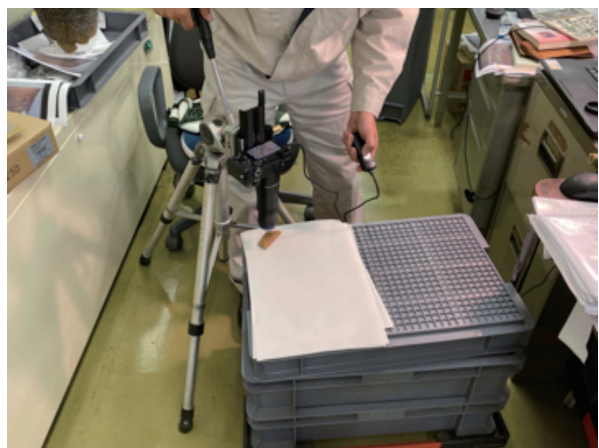


写真3 使用機材と撮影光景



写真4 1枚の撮影結果



写真5 深度合成の結果

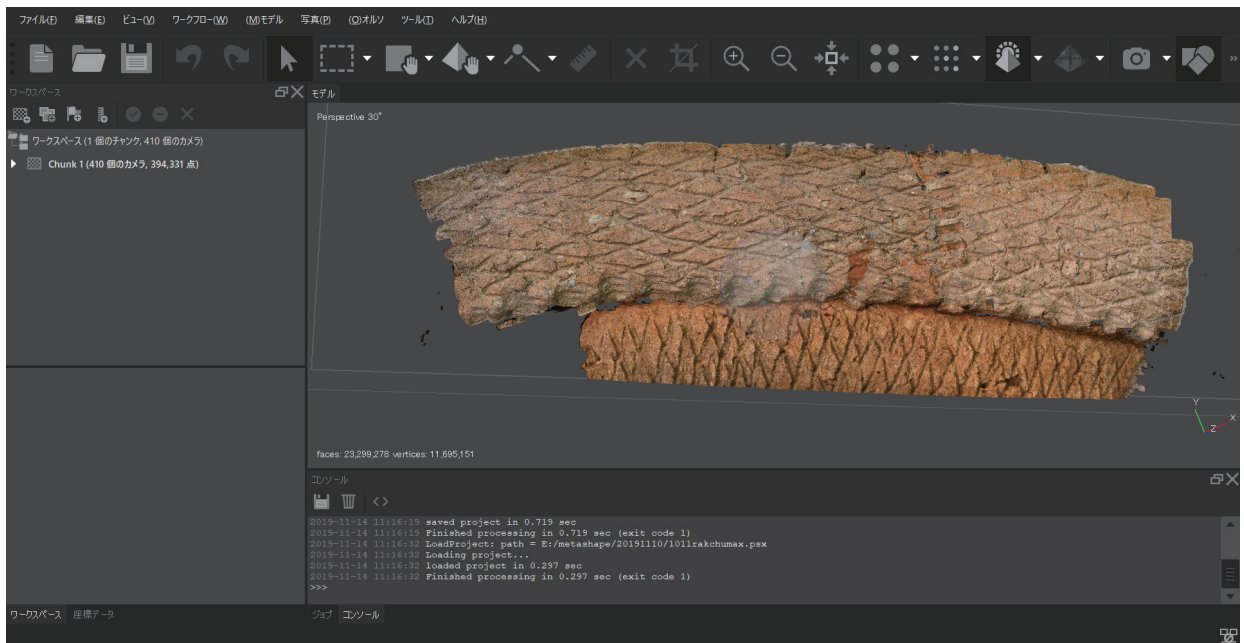


図3 作成した点群

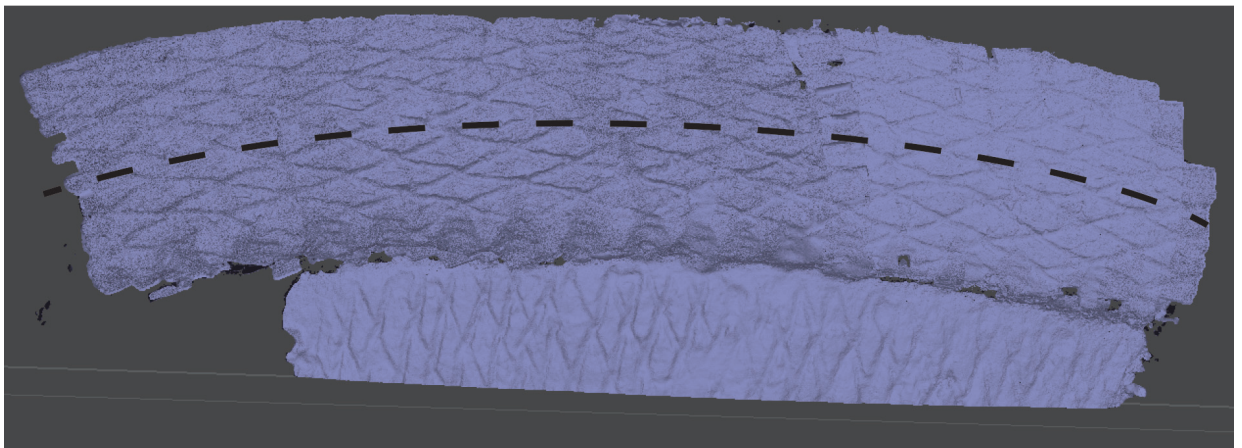


図4 メッシュを張った色情報のないモデル

モデル作成には Agisoft Metashape を使用した。作成に際して、原体と施文単位が目的であり、色情報は不要であるため、メッシュの構築は行うがテクスチャは作成する必要がない。処理マシンのスペックの都合

上、作成時の設定は写真のアラインメントの精度:高、深度マップ生成品質:中、フィルタは弱とし、メッシュ構築のポリゴン数は中程度とした。

作成したモデルはメッシュを張った状態で観察し、

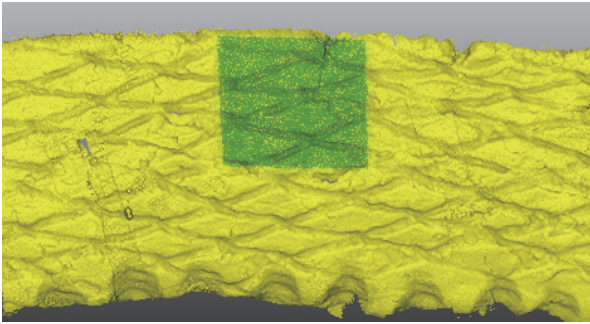


図5 1回転単位の採取位置（上段）

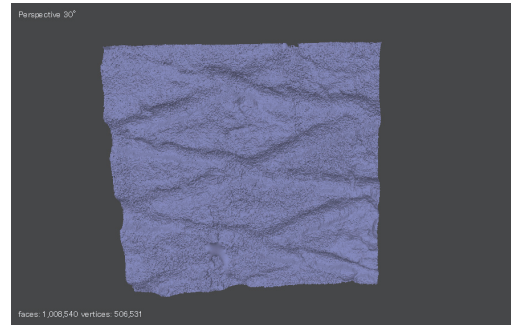


図6 上段の1回転単位モデル

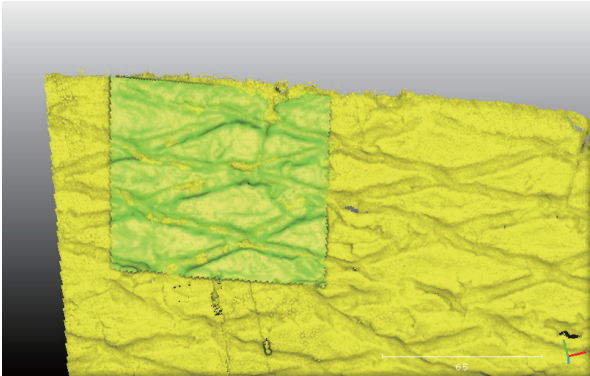


図7 上段の点群をずらす

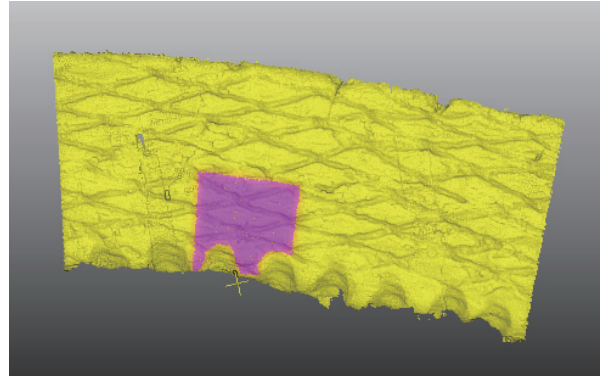


図8 1回転単位の採取位置（下段）

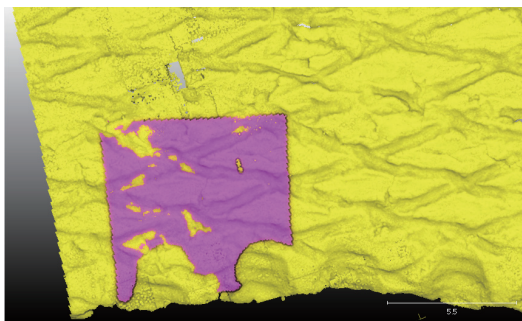


図9 下段の点群をずらす

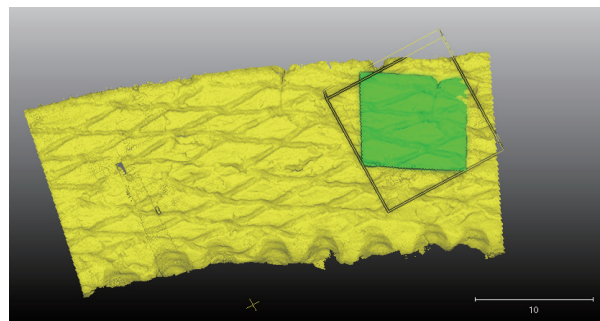


図10 上段モデルの符合しない箇所例

施文段数について確認する。このとき、各段から原体が1回転していると認められる箇所について切り出して、点群情報として出力する。土器片モデル自体も点群情報として obj 形式で出力する。点群編集ソフトの Cloudcompare を使用して各点群を読み込み、回転単位モデルをずらして重ねたときに、本体モデルとどの程度一致するかを確認する。なお、このとき重ねた範囲に対して distance computation² を行い、数値上での一致率が有意なものとなるかを検討する。また、異なる段の間で回転単位モデルが一致する箇所があるかを確認する。加えて、異なる段の回転単位モデル同士を重ね合わせることで、施文原体の元の大きさ（長さ）を推定する。

Ⅲ. 結果

作成した点群を図3に示す。なお、本来、対象の土器片は頸部にも網目状撚糸文が施文されているが、処理マシンのスペックの都合上、口縁部外面のみの検討を行った。メッシュを張り、色情報がない状態が図4である。色情報をなくすことで、網目の不連続面（破線部）が明らかになり、施文段数が2段であることを明瞭に示すことができた。

上段の施文を観察すると、同一のヨレ方が連続している箇所が観察された（図5）。これを原体1回転ぶんの箇所と判断して、上段のモデルから切り出したのが図6である。

図6を上段の範疇でスライドさせると、網目がぴたりと符合する箇所が確認された（図7）。この重なっ

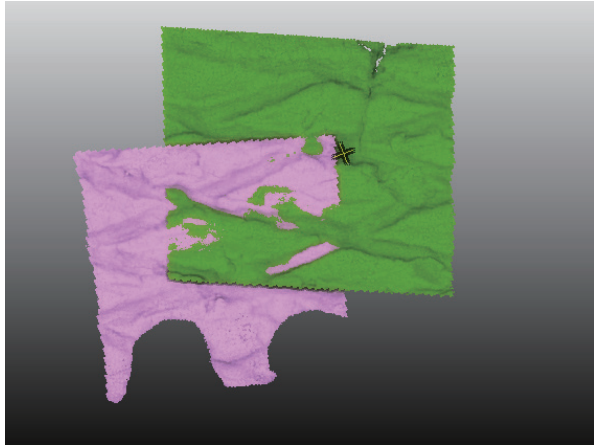


図 11 上・下段モデルの符合箇所

ている範囲について distance computation を行った³ところ、平均距離／標準偏差で $0.056762 / 0.059353$ ⁴と、ほとんど差のない値を見ることができた。ここから、上段には同一の原体が使用されていると言えよう。下段についても同様に、1回転単位モデルを切り出し（図8）、符合箇所（図9）を探して distance computation を行ったところ、平均距離／標準偏差で $0.057765 / 0.052783$ とほとんど差のない値を見ることができた。なお、数値の比較対象として、上段の一致しない箇所（図10）で行った distance computation の結果は、平均距離／標準偏差で $0.074346 / 0.069249$ となり、一致する箇所出の結果よりも一回り距離が多く算出された。

さらに、上段の回転単位モデルについては、下段の回転単位モデルと一致する箇所がないか確認し、範囲としては部分的で少ないものの、発見した（図11）。この時の distance computation の結果は平均距離／標準偏差で $0.049604 / 0.043794$ と、ほとんど一致している数値を得ることができた。以上から、上段と下段で同一の原体が使用されていると考えることができる。また、図11のとき、モデルの上端から下端までは約9.1mmとなるため、この土器の口縁部施文に使用された原体は最小でも9.1mmの長さがあるものと考えることができる。

以上の結果をまとめると、口縁部に施文された網目状撚糸文の段数が2段であること、同一の土器の口縁部に同一の原体が使用されていること、施文原体は少なくとも長さ9.1mm以上であること、異なる段を施文する際に、原体の同一箇所を使用しているとは限らないことを示すことができた。

IV. 問題点

本実験については、いくつかの問題点が考えられる。まず、対象は土器片に過ぎないので、土器全体の中で部分的な施文にしか言及することができない。今回対象とした破片の残存率は、15%と全周の四分の一にも満たない。上下段の圧痕が部分一致したことは大きい、土器全体の施文を厳密に論じるのであれば、完形のものを分析する必要がある。

次に、作成したモデルに対してスケーリングをしていない点である。全てのモデルは同一のスケールで操作しているが、その単位は任意である。このため distance computation 結果の、点群同士の平均距離等の数値は、これ以降の議論の対象として見ることはできない。次回以降の課題としておきたい。

また、実験の結果からは、本手法そのものについての3点の問題点が浮上した。今回は運よく符合箇所が見つかったが、原体は使用中に滑ったりヨレたりすると考えられる。施文される粘土も押圧や焼成を受けて変形しうるため、仮に同一の原体を使用していたとしても、撚糸文が変形していて原体の回転単位と符合しないことがありうる。この場合は同じ段中で回転中に変形のない、状態の安定している箇所を探すこととなるだろう。

加えて、同一原体でも同一の箇所を施文に使用するとは限らない。今回は運よく重なる箇所があったが、重なる箇所が少ない、あるいは全くない場合も考えられるだろう。施文幅の倍以上の長さの原体はやや想定しづらいが、別原体と判定する際には留意する必要があるだろう。

さらに、当然のことではあるが、原体の回転単位は施文単位とは異なる。このため、この手法では施文段数は検証できても「段の中で原体の回転をどこで止めているか」つまり横方向の施文単位については検証することが難しい。

V. 今後の方向性

本稿のモデルでは、原体の撚りまでは辛うじて再現に成功したものの、当初の理想であった「原体繊維一本に至るまで」の高精細なモデルは処理マシンのスペック上、実現できなかった。高精細な写真を撮ったにもかかわらず、その精度が生かせていないことになる。処理マシンの性能を改善し、再度試行するか、あ

るいは上記の試みで目的を達するには十分と見て、撮影倍率を落として処理枚数を減らすかを検討しなければならない。

また、検討が難しいとした施文単位についても、原体を回転させる際には指先の押圧により微細な凹みが生じるはずであるので、これを手掛かりに検討できないかと考えている。

本稿は手法についての実験という意味合いが強く、得られた結果としてはきわめてささやかなものである。しかし、この網目状撚糸文の同定作業を他遺跡の土器で行い、結果を蓄積していくことで、施文行為の規則性や、異なる土器間での同一原体の有無についての知見を得ることができるのではないかと考えている。それは、土器の作り手が何者であったかという問題へ資することにもなるのではないかと。

さらに付言すれば、以上の検討を行う際には、3D データを使用することにより、後から再検証可能な形で論を展開できると思われる。考古学資料に対する表現の正確性を担保することにも繋がり、これについても個人的に期待している。

註

- 1) 山田橋大山台遺跡を例に、(古墳前期の) 網目状撚糸文は殆どが縄を軸とする付加条3種による可能性が高いとする見解〔大村 2009 : 46 頁〕も見られる。
- 2) 点群を重ねたときに、2つの点群同士の距離がどれほど離れているか (= A 点群と B 点群がどれほど異なっているか) を計算し、平均距離等を算出する Cloudcompare の機能。距離によってグラデーションで図示することも可能だが、本稿では採用していない。
- 3) この際に、図の状態から *segmentation* で対象範囲の点群を切り取り、ICP で自動位置合わせを行って再度 *segmentation* を行なった上で、*distance computation* を行っている。
- 4) 図7・9・10 記載のものと同一スケールであるが、作成したモデルに対してスケールの調整を行わなかったため、数値としては任意単位である。

引用文献・参考文献

- 魚水環 2017 「古墳時代の遺構と遺物」『楽中遺跡』埼玉県埋蔵文化財調査事業団報告書 第429集 81-98 頁
- 魚水環 2018 「網目状撚糸文の観察(1)」『研究紀要』第32号 埼玉県埋蔵文化財調査事業団 13-20 頁
- 大村直 2009 「久ヶ原式と山田橋式」関東弥生時代研究会ほか編『南関東の弥生土器2～後期土器を考える～』六一書房 40-58 頁

- 可児通宏 2008 「縄文の施文原体と文様」小林達雄編『総覧縄文土器』アム・プロモーション 965-980 頁
- 高井健吾・水野慎士・植田真・高木隆司 2014 「CG による回転縄文のシミュレーション」『月刊考古学ジャーナル』第660号 25-29 頁
- 永見秀徳 2018 「土器の種子圧痕同定における SfM / MVS の有用性」『文化財の壺』Vol. 6 文化財方法論研究会 42-47 頁
- 宮原俊一 2009 「回転施文の特質から導く縄紋の比較・同定試論—王子ノ台遺跡方形周溝墓出土の土器を例に—」『東海大学考古学専攻開設30周年記念論集 日々の考古学2』六一書房 173-188 頁
- 山口欧志 2017 「遺物の微細圧痕跡の資料化」『文化財の壺』Vol. 5 文化財方法論研究会 16-19 頁